

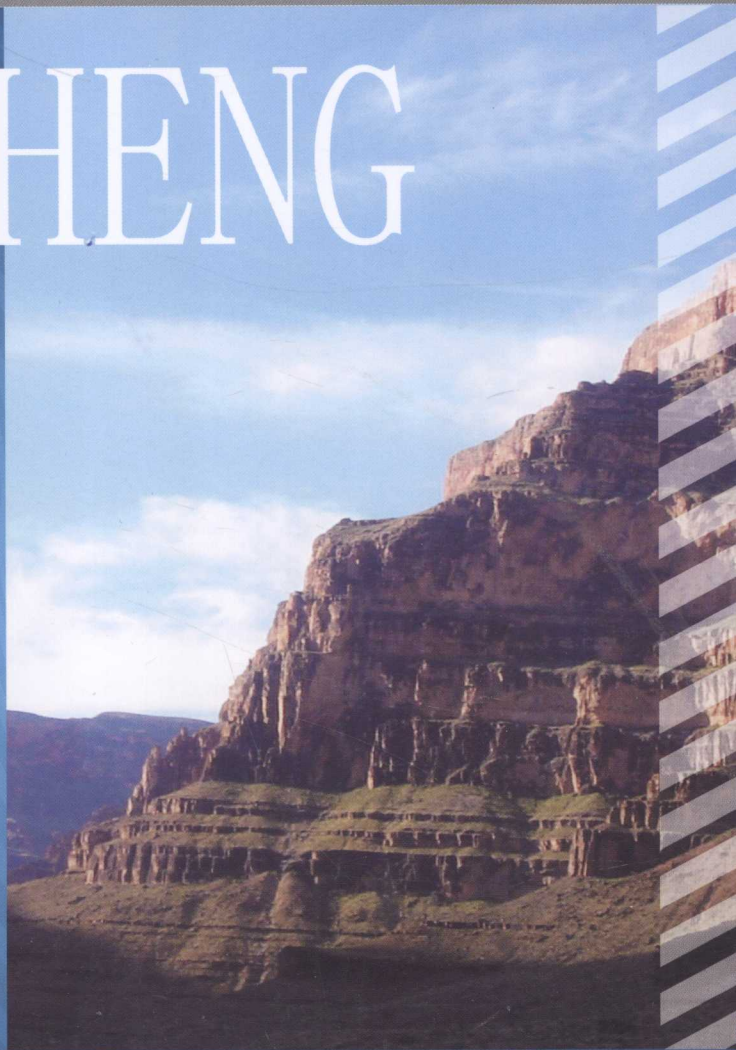


高等学校土建类专业“十二五”规划教材

工程地质

王华敬 主 编

GONGCHENG
DIZHI



化学工业出版社

014658360

P642-43
22

高等学校土建类专业“十二五”规划教材

工程地质

王华敬 主 编



化学工业出版社



北航

C1745282

P642-43

22

030820110

本书是高等学校土建类专业“十二五”规划教材,系统地介绍了工程地质学的基本原理和勘察测试技术,共分七章,第一章~第四章为地质学基础,内容包括矿物和岩石、地质年代和地质构造、地下水和常见的自然地质作用;第五章~第七章为工程地质,内容包括岩土的工程地质研究、不良地质现象的工程地质问题和工程地质勘查。

考虑到近年来生产实践和教学的要求,本教材相较之前的教材,更注重前沿动态和新成果、新规范,压缩了地下水的一些内容,增加了原位测试的内容。

本教材可作为高等院校土木工程、水利水电工程、道桥工程专业、水文与水资源工程等专业本科生教材,还可供在职人员进修自学和从事相关工作的工程技术人员参考。

工程地质

王华敬 主编

图书在版编目(CIP)数据

工程地质/王华敬主编. —北京:化学工业出版社, 2014.7

高等学校土建类专业“十二五”规划教材
ISBN 978-7-122-20572-8

I. ①工… II. ①王… III. ①工程地质-教材 IV.
①P642

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第088178号

责任编辑:陶艳玲
责任校对:吴静

装帧设计:杨北

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印刷:北京市振南印刷有限责任公司

装订:三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张15 $\frac{3}{4}$ 字数403千字 2014年9月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:38.00元

版权所有 违者必究

前言

工程地质是高等院校土木工程、水利水电工程、道桥工程等专业本科生的一门重要的专业基础课程。该课程以地质学为基础,以数学、化学、力学等为工具,阐明地质环境与工程建设间的相互制约和相互作用关系,实现人与自然的和谐共处。

目前高等教育为了适应人才市场需求和社会发展的需要,增强学生的适应性,增强就业迁移能力;实行按大类招生、宽口径的培养模式。所以为了满足用人单位对学生“厚基础、宽口径、高素质、强能力”的要求,本书的编写重在适应当前教学改革要求,构架学生的知识结构,拓宽学生知识面,培养扎实的地质知识,掌握工程地质的基本理论、主要的分析方法和主要的防治措施,有效解决工程设计施工和运营中的有关地质问题。

本书在编写时,重在使学生掌握地质基本知识,熟悉岩石和土的基本物理力学性质,掌握常见的地质灾害及其防治,掌握勘察的方法和内容。能基本认识和初步掌握实际工程地质的基本知识,注重工程的实用性,坚持内容体系的科学性、系统性和先进性,贯彻理论和实践相结合的原则。在内容和案例的选择上重点突出目前土木工程建设、水利水电工程建设中的工程地质问题,体现水利土木类专业工程地质工作的特色,使教学内容更有针对性。

本书共分七章,前四章主要讲述地质学的基础知识,后三章介绍工程地质的相关理论。本着“突出重点,重在掌握”的写作目的,在每章开始提供内容导读和教学目标及要求,既方便学生提前了解本章内容,也方便教师抓住授课要点。每章后面的思考题,强调本章的基本概念,有利于学生对具体知识点的检测,有助于实现教学目标。

本科学生就业主要面向生产一线,教材的理论部分以够用为度,删繁就简,实用内容尽量充实加强。其次,考虑到有的专业后续开设的土力学、水文地质、岩石力学、原位测试技术等课程,所以相关的内容进行了取舍,保证教学内容的完整性、精炼性。但在取舍的同时,也提供相关的延伸文献,方便日后的进一步学习。

本书按40~50学时的教学内容编写,各高校在使用时,可根据专业特点和授课学时取舍。

参加本书编写的有山东农业大学王华敬(绪论、第五章)、谭秀翠(第一章)、张萍(第二章)、中国矿业大学张新霞(第三章)、朱术云(第四章),东南大学刘志彬(第六章),安徽理工大学张平松(第七章)。王华敬负责统稿、修改和定稿。

本书在编写过程中,参阅了大量公开出版发行的地质学、工程地质学、水文地质学、土力学、土力学与地基基础、岩石力学、边坡与滑坡、灾害地质学、风化、岩溶等方面的教材、专著、研究论文等,在此谨向其作者表示衷心的感谢!

限于编者的水平和经验,书中不妥之处敬请广大读者和同行专家批评指正。

编者

2014年2月

目录

绪论	1
思考题	4
第一章 矿物和岩石	5
第一节 概述	5
一 地球的外部结构	6
二 地球的内部结构	7
第二节 地质作用	9
一 地质作用的概念	9
二 地质作用的能量及其来源	9
三 地质作用的类型	10
第三节 矿物	12
一 矿物的概念	12
二 矿物的物理性质	13
三 常见造岩矿物	15
四 常见矿物的肉眼鉴定方法	17
第四节 岩石	17
一 岩浆岩	17
二 沉积岩	22
三 变质岩	27
思考题	32
第二章 地质年代和地质构造	33
第一节 概述	33
第二节 地质年代的确定方法	34
一 绝对地质年代的确定——同位素年龄的测定	34
二 相对地质年代的确定	35
三 地质年代表	39
第三节 地质构造	42
一 概述	42
二 岩层的产状	42
三 水平构造和倾斜构造	44

四 褶皱构造	44
五 断裂构造	50
第四节 地质图的阅读	60
一 地质图的种类	61
二 地质构造在地质图上的表现形式	61
三 阅读地质图	64
思考题	65
第三章 地下水	67
第一节 概述	67
第二节 地下水赋存	68
一 岩石中的空隙类型	68
二 岩石中水的存在形式	70
三 岩石的水理性质	72
第三节 地下水的运动	72
一 概述	72
二 地下水的循环(补给、径流与排泄)	73
三 地下水的运动规律	75
四 地下水的动态与均衡	77
第四节 地下水的分类	79
一 概述	79
二 包气带水	79
三 潜水	80
四 承压水	82
五 空隙水(孔隙水、裂隙水、岩溶水)	86
第五节 地下水中的化学成分及其形成作用	87
一 概述	87
二 地下水中的化学成分	87
三 地下水中化学成分的形成作用	90
四 地下水化学类型	92
思考题	93
第四章 常见的自然地质作用	94
第一节 概述	94
第二节 风化作用	95
一 概述	95
二 风化作用的类型	95
三 影响岩土体风化的因素	97
四 风化带的划分	99
五 风化的后果及治理	100
第三节 地表水的地质作用	101
一 暂时性流水的地质作用	101
二 河流的地质作用	102
三 海洋的地质作用	106

第四节 岩溶作用	109
一 概述	109
二 岩溶发育的条件	109
三 岩溶发育的影响因素	110
四 岩溶的形态及发育规律	112
五 岩溶地区工程地质问题及防治措施	113
第五节 地震	116
一 概述	116
二 震级与烈度	120
三 地震对建筑物的影响	121
思考题	123
第五章 岩土的工程地质研究	124
第一节 概述	124
第二节 岩石及岩体的工程性质	124
一 岩石的物理、水理和力学性质	125
二 岩体的结构特征	127
三 岩体的力学特性	130
四 岩体的天然应力状态	134
五 岩体的质量评价及工程分类	136
第三节 土的工程性质及分类	142
一 土的物理性质及分类	142
二 土中的应力	152
三 土的压缩性及地面沉降	153
四 地基的承载力及建筑物的稳定	157
思考题	162
第六章 不良地质现象的工程地质问题	163
第一节 概述	163
一 不良地质现象的定义和特征	163
二 地质灾害的分类	164
第二节 崩塌与滑坡	165
一 崩塌	165
二 滑坡	168
第三节 泥石流	175
一 泥石流的概念	175
二 泥石流的形成条件	176
三 泥石流的分类	177
四 泥石流的防治	177
第四节 特殊土引起的工程地质问题	178
一 膨胀土	178
二 湿陷性黄土	181
三 红黏土	183
四 冻土	185

五 盐渍土	188
第五节 边坡的工程地质问题	191
一 概述	191
二 边坡的类型	191
三 边坡工程安全等级	192
四 影响边坡稳定性的主要因素	193
第六节 地下水引起的地质问题	195
一 毛细水对建筑工程的影响	195
二 潜水对建筑工程的影响	196
三 承压水的作用	199
四 地下水中的化学成分的影响	199
第七节 岩溶地区的工程地质问题	202
一 地基稳定性及塌陷问题	202
二 岩溶渗漏问题	205
第八节 其他常见的工程地质问题	207
一 地下洞室	207
二 深基坑开挖	210
三 水库	215
思考题	220

第七章 工程地质勘察 222

第一节 工程地质勘察概述	222
一 工程地质勘察的目的、任务与内容	222
二 工程地质勘察的方法和阶段划分	223
第二节 工程地质勘察方法	224
一 工程地质测绘	225
二 工程地质勘探	226
三 室内试验	233
四 原位测试	233
五 现场检验与监测	238
第三节 地质勘察报告的编写	239
一 勘察资料的整理	239
二 数据的统计分析	239
三 地质图的编绘	240
四 地质报告的编写	241
思考题	242

参考文献 243

绪论

【内容导读】本章主要介绍工程地质学、工程地质条件与工程地质问题等基本概念，介绍本学科的发展，阐明本课程的特点、内容及教学要求。

【教学目标及要求】掌握工程地质学、工程地质条件与工程地质问题的基本概念，工程地质学的基本任务，了解本学科的发展历程、特点及相关的学科。

一 工程地质学

工程地质学是研究与工程建设有关的地质问题的科学，是为工程建设服务的，属于地质学的一个分支学科。

人类的所有工程都建造于地壳表层一定的地质环境中，地质环境会以一定的作用方式从安全、经济和正常使用三个方面影响制约人类的工程建设。例如，地球内部构造活动所导致的强烈地震，顷刻间使较大地域内的各种工程受到破坏甚至毁灭，使人类生命财产遭受重大损失；地壳表面的岩土体的工程特性会对人类工程建设的规模等加以限制；地质时期内岩溶作用形成的洞穴的严重渗漏，会造成水库和水电站不能正常发挥效益，甚至完全丧失功能；坝基、边坡、地下洞室的失稳会造成巨大的生命和财产损失。例如：意大利的瓦依昂（Vaiont）拱坝，坝高 265 m，是当时世界上最高的双曲拱坝。此坝在修建过程中，不理睬工程地质人员的多次建议，结果在 1963 年 10 月 9 日，水库右岸陡峭山坡的石灰岩层因水库蓄水后失稳，产生巨大的滑动崩塌，岩体崩入库中，1.5 亿立方米的库容全被填满；同时，库水漫坝，顺流冲下，造成 2 400 多人死亡的严重事故；新中国成立初期修建的宝成铁路，限于 20 世纪 50 年代初期的设计水平，对工程地质条件认识不足，致使线路的某些地段质量不高，给施工和运营带来了困难。宝成铁路上存在的路基冲刷、滑坡和泥石流问题给我们留下了深刻教训。因此，人类必须要很好地研究工程场地的地质环境，尤其是对工程建设有严重制约作用的地质作用和现象一定要进行详细、深入地研究。

而同时，人类的各种工程活动，又会反作用于地质环境，使自然地质条件发生变化，最

终又影响工程设施的稳定和正常使用,甚至威胁到人类的生活和生存环境。例如,城市大量抽取地下水所引起的地面沉降,会造成海水入侵;大型水库的兴建,使河流上、下游大范围内水文和水文地质条件发生变化,引起库岸再造、库周浸没、库区淤积、诱发地震等问题;生活和生产活动会使地下水水质污染,甚至使生态环境恶化,等等。

因此,工程地质学的研究对象就是人类的工程活动与地质环境间的相互制约和相互作用,研究的目的是促使两者间矛盾的转化和解决,谋求两者间的和谐与安全。

工程地质学的基本任务是查明工程建设环境内的工程地质条件,发现工程建设过程中潜在的工程地质问题,并提出必要的预防和防治措施。

二 工程地质条件与工程地质问题

工程地质条件是指与工程建设有关的地质因素的综合,包括地形地貌、岩土类型及其工程地质特征、地质结构与地应力、水文地质、不良地质现象和天然建筑材料等方面,它是一个综合概念。工程地质条件直接影响到工程的安全、经济和正常使用。所以查明建设场地的工程地质条件是兴建任何类型的工程所要解决的首要任务。由于不同地区的地质环境不尽相同,因此影响工程建设的地质因素有主次之分,工程地质工程师应对当地的工程地质条件进行具体分析,明确影响到工程建设的安全、经济和正常使用的主次因素,并进一步指出对工程建设有利的和不利的方面。

工程地质问题是指工程地质条件与工程建设之间所存在的矛盾或问题。工程地质条件是自然界客观存在的,它能否满足工程建设的需要,则一定要结合工程的类型、结构形式和规模等进行综合分析。例如,从工程地质的角度上讲,工程包括三种类型:第一类是将工程岩土作为地基利用的工程,如各种工业与民用建筑工程等,保证该类工程的施工和使用过程中的安全所要解决的主要工程地质问题是地基承载力和变形问题;第二类是将边坡岩土作为利用对象的工程,如露天采矿工程、港口工程、坝体工程等,保证该类工程的施工和使用过程中的安全所要解决的主要工程地质问题是边坡岩土的重力稳定性问题;第三类是将地下洞室作为利用对象的工程,如人防工程、交通隧道工程等,保证该类工程的施工和使用过程中的安全所要解决的主要工程地质问题则是整个洞室环境的稳定性问题。所以,工程地质问题是复杂多样的,在工程建设过程中一定要根据工程地质条件和具体工程的建设要求两个方面紧密地联系起来,有针对性地开展工程地质工作,切不可在未查清建设场区的工程地质条件或对工程地质问题分析、评价不充分的情况下进行工程建设活动,以免造成不良影响或严重后果。

三 本学科的发展

工程地质学在国际上成为地质学的一门独立分支学科仅有 80 多年的历史。20 世纪 30 年代初,苏联开展大规模的国民经济建设,促使了工程地质学的萌生。1932 年在莫斯科地质勘探学院成立世界上第一个工程地质教研室,专门培养工程地质专业人才,并奠定了工程地质学的理论基础。工程地质学经过数十年的发展,已形成了由“土质学”、“工程岩土学”、“土力学”、“岩体力学”和“环境工程地质学”等多个分支学科所组成的学科体系。

为了促进工程地质科学的发展和便于各国学者的学术交流,第 23 届国际地质大会在 1968 年成立了国际地质学会工程地质分会,后改名为国际工程地质协会(IAEG),该协会

下设了多个专业委员会，并定期进行学术交流，并办有会刊。

我国的工程地质学是在新中国成立后才发展起来的。20 世纪 50 年代初由于经济和国防建设的需要，地质部成立了水文地质工程地质局和相应的研究机构，在地质院校中设置水文地质工程地质专业，培养专门人才。当时一些重大工程项目，如三门峡水库、武汉长江大桥、新安江水电站等，都进行了较详细的工程地质勘察。

为了更好地促进我国工程地质学科的发展，加强学术交流，1979 年 11 月成立了中国地质学会工程地质专业委员会，并召开了我国首届工程地质大会，至今已召开了九届大会和多次专题性学术讨论会。为了迎接 20 世纪 90 年代国际减灾 10 年的活动，于 1989 年成立了全国地质灾害研究会，并办有专门的学报。这个全国性学术组织以工程地质学家为主体，专门从事地质灾害的形成机制、时空分布规律、预测预报、防治对策和措施等方面的研究。当前，我国工程地质界的研究领域不断拓展，主要有：能源和矿产资源开发、沿海经济开发区和城市环境工程地质、矿山工程地质、地震工程地质和海洋工程地质、地质灾害预测预报、工程地质图集编制、测试技术理论和方法等。还引进了许多新兴学科，如信息论、系统论、耗散结构理论、灰色理论等理论和方法，开展了较广泛而深入的研究，使之更有效地服务于工程建设。

四 课程的特点、内容和要求

工程地质学所涉及问题的广泛性决定了它的多学科性。

首先，工程地质问题的认识是以认识地质环境为基础的，而要认识地质环境就必须学会辨别各种矿物、岩石、地质构造、地质作用、地貌和水文地质条件等，因而动力地质学、矿物学、岩石学、构造地质学、沉积学、第四纪地质学、地貌学和水文地质学等许多地质学的分支学科都是工程地质学的地质基础学科。

其次，工程地质问题的研究、分析和解决要以数学、物理学、化学、力学等学科知识为基础，因而工程地质学与这些学科的关系十分密切。

此外，工程地质学的最终目的是保证人类与地质环境之间的和谐发展，而人类工程经济活动又不可避免地会对地质环境产生各种各样的影响，所以，工程地质学还与环境科学及许多工程应用技术科学学科之间均存在较密切的联系。

工程地质学的研究对象是复杂的地质体，因此其研究方法应是地质分析法与力学分析法、工程类比法与实验法等密切结合，即通常所说的定性分析与定量分析相结合的综合研究方法。

- ① 地质分析法：以地质学和自然历史的观点分析研究工程地质条件的形成和发展；
- ② 力学分析法：在研究工程地质问题形成机理的基础上，采用力学手段建立模型进行计算和预测；
- ③ 工程类比法：根据条件类似地区已有资料对研究区的问题进行分析；
- ④ 实验法：通过室内或到野外现场试验，取得所需要的岩土的物理力学参数。

工程地质学的内容相当广泛，本书只着重介绍了工程建设方面所涉及到的最基本的地质学基础和工程地质基础，前者主要包括：矿物和岩石、地质年代和地质构造、地下水、常见的自然地质作用等，后者包括岩土工程地质分级与分类、不良地质现象的工程地质问题和工程地质勘察。

限于篇幅，本教材无法对工程地质学理论和知识进行全面和系统的介绍，学生在学习本

课程的同时还应该大量阅读相关的课外书籍,以便加深对所学知识的理解。本教材中凡涉及国家规范的部分虽然已按照最新的国家规范进行编写,但国家规范的修改和完善总是在不断进行的,学生在学习和工作过程中应随时注意国家规范的变化。而且,在实际工作过程中,有些工程可能会有特殊要求,届时工作应按照具体工程的特殊要求进行,切不可生搬硬套。

作为一名水利工程、土木工程、道桥工程、水文水资源工程等专业的工科学生,在学习本课程后,应达到以下基本要求和能力:

- ① 能阅读一般的地质资料,根据地质资料在野外能辨认常见的岩石和土,了解其主要的工程性质;
- ② 能根据工程地质的勘察成果,应用已学过的工程地质理论和知识,进行一般的工程地质问题分析,特别对工程地质环境中的不良地质现象应该能够进行分析和判断,并能够对工程地质环境中的不良地质现象可能引起的地质灾害进行科学预测;
- ③ 能正确地理解和应用岩土工程勘察数据和资料进行工程设计与指导施工;
- ④ 了解取得工程地质资料的工作方法、手段及成果要求。

本课程是一门实践性很强的课程,除课堂教学外,室内矿物和岩石试验、野外教学试验等是本课程的重要教学环节,尤其是野外教学实习,在本课程中占有特殊的重要地位,强调第一感官效应,将书本上的知识与实实在在的地质体相结合,最终在巩固已学知识的基础上产生知识的升华,切忌囫圇吞枣。

对不同专业学生在教学内容上可适当取舍,教学时间也可伸缩;有些内容可留给学生自学,有些内容可要求学生写读书报告。

思考题

- 0-1 简述工程地质学、工程地质条件、工程地质问题的含义。
- 0-2 工程地质学的研究对象、基本任务是什么?
- 0-3 工程地质学的地质基础学科有哪些?
- 0-4 工程地质学的研究方法有哪些?
- 0-5 工程地质课程的学习应达到的基本要求是什么?

第一章

矿物和岩石

【内容导读】地壳是地质学研究的主要对象，它是由各种地质作用形成的各种岩石组成，而岩石是由各种矿物组成，本章重点介绍地质作用、矿物的概念和物理性质、三大类岩石（岩浆岩、沉积岩、变质岩）的形成、结构和构造等内容。

【教学目标及要求】学完本章后应掌握以下内容：

- (1) 地质作用的概念及基本类型；
- (2) 矿物的概念及主要物理性质；
- (3) 岩浆岩、沉积岩和变质岩的主要矿物成分、结构和构造特征。

第一节 概述

地球是宇宙中沿一定轨道运转的椭球体。地球是目前已知宇宙中唯一存在生命的太阳系的一颗行星，是我们全人类赖以生存的家园。地球上有高山、深谷，起伏不平，它的形状由大地水准面反映。大地水准面是平均海平面和该面扩展到大陆下面构成的一个理论上的连续面。早在我国古代（公元9年）以前，就有“天圆如张盖，地方如棋局”的天圆地方说，那时认为地球是方形的。到了东汉，张衡的浑天说认为“天如蛋壳，地如蛋黄”，肯定了大地是球形的。1672年，法国天文学家里舍认为地球是一个扁的椭球体。牛顿更认为地球是旋转椭球体。“不识庐山真面目，只缘身在此山中”。卫星上天以后，根据卫星轨道分析测算，地球并非标准的旋转椭球体，因为北极凸出约10m，南极凹进约30m，中纬度在北半球凹进，在南半球凸出。因此有人形象地喻之为梨形球体。

根据国际大地测量与地球物理联合会1980年公布的地球形状和大小的主要数据显示（见表1-1），地球形状为扁率不大的三轴椭球体。大地水准面的平均子午面（实线）与扁率

1/298.25 的理想扁球体（虚线）的关系见图 1-1。

表 1-1 地球的形状和大小参数

赤道半径	6378.137km
两极半径	6356.752km
平均半径	6371.012km
赤道周长	40075.7km
子午线周长	40008.08km
表面积	$5.1 \times 10^8 \text{ km}^2$
体积	$108 \times 10^{10} \text{ km}^3$

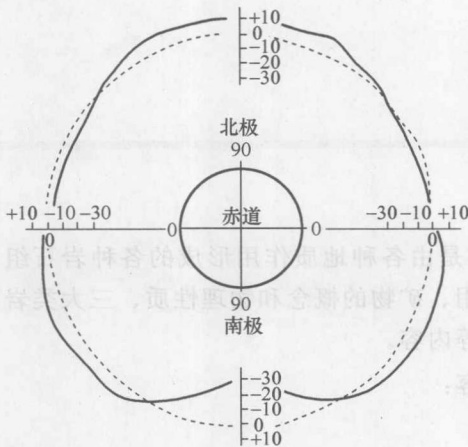


图 1-1 大地水准面的平均子午面与扁率为 1/298.25 的理想扁球体的关系
实线：平均子午面；虚线：理想扁球体

由于在地球形成演化过程中的重力分异，重的物质下沉，轻的物质上升，造成地球物质分布总的规律是上轻下重或外轻内重，这样就形成了地球的层圈结构。地球的层圈结构分为地球的外部层圈和地球的内部层圈。

一 地球的外部结构

(一) 大气圈

大气圈 (atmosphere) 是因地球引力而聚集在地表周围的气体圈层，是地球最外部的一个圈层。大气是人类和生物赖以生存必不可少的物质条件，也是使地表保持恒温和水分的保护层，同时也是促进地表形态变化的重要动力和媒介。

据估算，大气圈的总质量约 $5 \times 10^{18} \text{ kg}$ ，其中绝大部分分布在大气圈的下层。自然状态下的大气是多种气体的混合物，主要由氮、氧、二氧化碳、水及一些微量惰性气体组成。但是随着人类活动的日益增强和工业化的发展，大气中的有毒、有害物质和悬浮颗粒也明显增多。

(二) 水圈

水圈 (hydrosphere) 是指由地球表层水体所构成的连续圈层。水是组成自然界最重要的物质之一，是一切生物生存必不可少的物质条件，对地球表层环境的形成和改造起到重要的作用。自然界的水以气态、固态和液态三种形式存在于大气圈、生物圈、海洋与大陆表层之中。地球水体的总质量为 $1.5 \times 10^{18} \text{ t}$ ，体积约 $1.4 \times 10^{18} \text{ m}^3$ ，其中，海洋水约占 97.212%，大陆表面水约占 2.167%，地下水为 0.619%，大气水占 0.001%。地球上水体的分布是极不均匀的，能被人类饮用的淡水只占有所有水体的一小部分，而且大部分又为固结在两极及高山地区的固态水。自然界中以各种形式存在的或保存在不同环境中的水，并不是固定不变的，它在自然因素和人为因素的影响下处于不断的运动和转换之中，这就称为水圈的循环。

(三) 生物圈

生物圈 (biosphere) 是指地球表层由生物及其生命活动的地带所构成的连续圈层, 是地球上所有生物及其生存环境的总称。它同大气圈、水圈和岩石圈的表层相互渗透、相互影响、相互交错分布, 它们之间没有一条绝对的分界线。生物圈所包括的范围是以生物存在和生命活动为标准的, 从现在研究现状来看, 从地表以下 3km 到地表以上 10 多公里的高空以及深海的海底都属于生物圈的范围, 但是生物圈中的 90% 以上的生物都活动在地表到 200m 高空以及从水面到水下 200m 的水域空间内, 所以这部分是生物圈的主体。

生物圈中的生物分布极不平衡, 受太阳辐射量、气候、地形、地质、大气环境、水环境等因素的影响, 例如, 在沙漠、两极地区的生物数量、种类都很少, 而在气候炎热、湿润的热带和亚热带地区, 不仅生物种类繁多, 而且生物量也很大。

二 地球的内部结构

地震波的传播速度总体上是随深度而递增变化的。但其中出现 2 个明显的一级波速不连续面、1 个明显的低速带和几个次一级的波速不连续面。莫霍洛维奇不连续面 (简称莫霍面) 是 1909 年由前南斯拉夫学者莫霍洛维奇首先发现的。其出现的深度在大陆之下平均为 33km, 在大洋之下平均为 7km。在该界面附近, 纵波的速度从 7.0km/s 左右突然增加到 8.1km/s 左右; 横波的速度也从 4.2km/s 突然增至 4.4km/s。莫霍面以上的地球表层称为地壳。

古登堡不连续面 (简称古登堡面) 是 1914 年由美国地球物理学家古登堡首先发现的, 它位于地下 2885km 的深处。在此不连续面上, 纵波速度由 13.64km/s 突然降低为 7.98km/s, 横波速度由 7.23km/s 向下突然消失。并且在该不连续面上地震波出现极明显的反射、折射现象。古登堡面以上到莫霍面之间的地球部分称为地幔; 古登堡面以下到地心之间的地球部分称为地核。低速带出现的深度一般介于 60~250km 之间, 接近地幔的顶部。在低速带内, 地震波速度不仅未随深度而增加, 反而比上层减小 5%~10%。低速带的上、下没有明显的界面, 波速的变化是渐变的; 同时, 低速带的埋深在横向上是起伏不平的, 厚度在不同地区也有较大变化。横波的低速带是全球性普遍发育的, 纵波的低速带在某些地区可以缺失或处于较深部位。低速带在地球中所构成的圈层被称为软流圈。软流圈之上的地球部分被称为岩石圈 (见图 1-2)。

(一) 地壳

地壳是莫霍面以上的地球表层。在陆地上地壳直接显露出来, 有水体的地方特别是海洋区地壳则被水圈覆盖。根据地震波的方法, 便可知道地球不同部位其地壳的厚度。地壳约占地球半径的 1/400, 占地球总体积的 1.55%, 占地球总质量的 0.8%。地壳的密度一般为 2.6~2.9g/cm³, 从上向下密度增大。地壳最大的特点是横向上是极不均一的。按

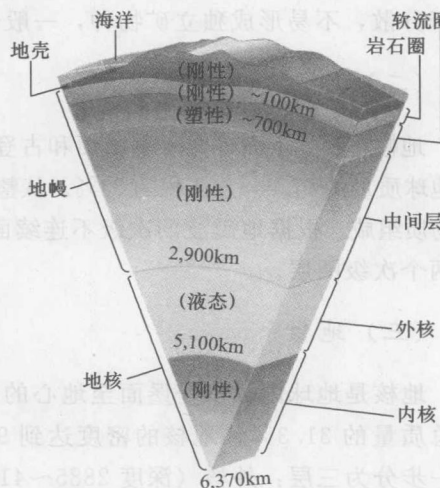


图 1-2 地球的内部结构

地壳的物质组成、结构、构造及形成演化的特征，主要可将地壳分为大陆地壳和大洋地壳两种类型（见表 1-2，图 1-3）。

表 1-2 大陆地壳与大洋地壳

大陆地壳(陆壳)	大洋地壳(洋壳)
位于大陆, 占总面积的 1/3	位于大洋, 占总面积的 2/3
厚度变化大, 平均 20~60km	厚度较小且变化也小, 平均小于 10km
成分接近于中性岩浆岩: 表层多沉积岩, 深部为深变质岩	由基性玄武岩组成, 表层有较薄的沉积物
形成年代老、地壳结构复杂、岩石构造变形强烈	演化时间较短、地壳结构单一、构造变形较简单

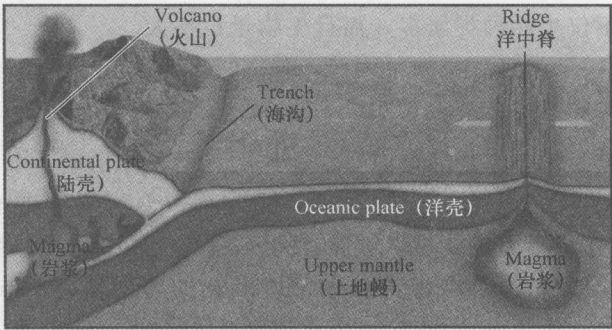


图 1-3 陆壳与洋壳

人们对地壳中产出的矿物研究较为充分。地壳中各种元素的平均含量（克拉克值）不同。氧、硅、铝、铁、钙、钠、钾、镁八种元素就占了地壳总重量的 97%，其中氧约占地壳总重量的一半（49%），硅占地壳总重的 1/4 以上（26%）。故地壳中上述元素的氧化物和氧盐（特别是硅酸盐）矿物分布最广，它们构成了地壳中各种岩石的主要组成矿物。其余元素相对而言虽微不足道，但由于它们的地球化学性质不同，有些趋向聚集，有的趋向分散。某些元素如铋、铊、金、银、汞等克拉克值甚低，均在千万分之二以下，但仍聚集形成独立的矿物种，有时并可富集成矿床；而某些元素如铷、铯等的克拉克值虽远高于上述元素，但趋于分散，不易形成独立矿物种，一般仅以混入物形式分散于某些矿物成分之中。

（二）地幔

地幔在地壳下面，介于莫霍面和古登堡面之间，厚度 2850km 左右，平均密度为 4.5g/cm³，占地球质量的 67.6%，体积的 83%。从整个地幔可以通过地震波是横波的事实来看，它主要由固态物质组成。根据地震波的次级不连续面，以 650km 深处为界，可将地幔分为上地幔和下地幔两个次级圈层。

（三）地核

地核是地球内部古登堡面至地心的部分，其体积占地球总体积的 16.2%，质量却占地球总质量的 31.3%，地核的密度达到 9.98~12.5g/cm³。根据地震波的传播特点可将地核进一步分为三层：外核（深度 2885~4170km）、过渡层（4170~5155km）和内核（5155km 至地心）。在外核中根据横波不能通过，纵波发生大幅度衰减的事实推测其为液态，在内核

中，横波又重新出现，说明其又变为固态，过渡层则为液体一固体的过渡状态。
地核的密度较大，主要由铁、镍物质组成。

第二节 地质作用

一 地质作用的概念

地球自形成以来，一直处于变化之中，今天所看到的地球，只是它的全部运动和发展过程中的一个阶段。这种由于自然动力引起地壳的物质成分、构造和地面形态发生运动、变化和发展的各种作用，称为地质作用。

地质作用是地壳形成以来极为普遍的自然现象。有的地质作用进行得很快，易于被人察觉，如火山喷发、地震、山崩、泥石流等。但更多的地质作用进行得非常缓慢，例如地壳升降运动，即使在相当剧烈的地区，每年升高也只不过几毫米，但经过长期发展变化，常常使地壳发生巨大的变化。大家熟知的喜马拉雅山地区在几千万年前是一片汪洋，由于该地区地壳不断上身，才形成今天这样雄伟的世界屋脊。

在漫长的地质年代中，各种地质作用不断改变地表面貌和地下岩石。一方面，在不断破坏地壳中已有的岩石记录；另一方面，又不断产生新的岩石记录。我们的地球就是在各种地质作用的不断作用下，向前发展着的。

二 地质作用的能量及其来源

任何地质作用都涉及能量的消耗和转换，如不考虑物质运动过程中能的转换，地球上能量的初始来源分为内部能和外部能两大类。

（一）内部能

内部能是来自于地球本身的能量，包括以下三个方面。

1. 重力能

重力能是指地心引力给予物体的位能（势能）。重力能使组成地球的物质重者下沉，轻者上浮，造成密度不同的物质重新分配，可导致火山喷发和地壳运动。

2. 地热能

由于岩石中的放射性元素蜕变等原因，地球内部具有很高的温度。如温度不均匀引起对流，可成为岩浆和构造运动等的起因。根据研究显示，地下 100km 深处温度可达 1100～1200℃，可见地热能是十分巨大的。

3. 地球的旋转能

地球的旋转能主要指地球自转的离心力给予地球表面物质的能。地球表面的离心力在两极为零，赤道最大，因此构成表层物质向赤道运动的离极力。

除上述的三种内部能，地球内部的物质的相变、各种化学反应都可以产生一定的能量，一般认为这些能量是次要的。